

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **17946**

(13) **С1**

(46) **2014.02.28**

(51) МПК

С 09К 11/63 (2006.01)

С 09К 11/77 (2006.01)

С 01В 21/064 (2006.01)

С 30В 29/10 (2006.01)

(54) МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

(21) Номер заявки: а 20111273

(22) 2011.09.30

(43) 2013.04.30

(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный тех-
нологический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Шишенок Елена Михайлов-
на (ВУ); Абдуллаев Олег Рауфович
(RU); Якунин Александр Сергеевич
(RU); Мосунов Евгений Игоревич
(ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образо-
вания "Белорусский государственный
технологический университет" (ВУ)

(56) JP 2006/312672 A.

ВУ 12224 С1, 2009.

ВУ 13634 С1, 2010.

JP 4136086 A, 1992.

JP 2003/160784 A.

US 2001/0015469 A1.

(57)

Материал на основе кубического нитрида бора, обладающий световой эмиссией в ультрафиолетовой, видимой или инфракрасной областях спектра, содержащий твердый раствор трехзарядных ионов редкоземельного элемента из ряда Gd, Ce, Tm, Tb, Sm, Eu, Er, Nd, в кристаллической решетке кубического нитрида бора, характеризующийся нелинейно возрастающей зависимостью $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$,

где $a(\Theta)$ - параметр кристаллической решетки кубического нитрида бора;

$$R(\Theta) - \text{функция Райли, } R = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \Theta}{\sin \Theta} + \frac{\cos^2 \Theta}{\Theta} \right);$$

Θ - угол дифракции, рассчитанной последовательно из рефлексов (331), (311), (220), (111) рентгенодифрактометрического спектра, при следующем соотношении компонентов в твердом растворе, ат. %:

Gd³⁺, или Ce³⁺, или Tm³⁺,

или Tb³⁺, или Sm³⁺, или

Eu³⁺, или Er³⁺, или Nd³⁺

кубический нитрид бора

0,01-5,00

95,00-99,99.

Изобретение относится к твердым растворам на основе кубического нитрида бора (сBN), предназначенным для использования в устройствах микро- и оптоэлектроники, эксплуатируемых в экстремальных условиях окружающей среды (высокие температура, радиация, агрессивные среды).

Известен материал на основе кубического нитрида бора, содержащий 10 ат. % Er, в виде нанопорошка, обладающий ИК - люминесценцией [1], предназначенный для использования в лазерных элементах.

Недостатком аналога является его неоднородный состав (содержание основной фазы не более 90 вес. %), что существенно снижает его эксплуатационные свойства как потенциального источника световой эмиссии.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является химически, термически и радиационно стабильный фосфор, включающий кубический нитрид бора и по меньшей мере один из ряда трехвалентных ионов редкоземельных элементов (Eu, Tb, Sm, Ce), описанный в [2], предназначенный для использования в фосфорах.

К недостаткам материала [2] относится недостаточная стабильность его световой эмиссии при высоких температурах, радиации и воздействии химически агрессивных сред, ввиду неопределенности в фазовом составе материала и отсутствия данных о его кристаллической структуре.

Задачей, решаемой настоящим изобретением, является получение материала со стабильной световой эмиссией, что позволит применять материал при жестких условиях эксплуатации (высокие температуры, в том числе температура термоудара до 1300 °С, высокая радиация различной природы, неизменность после воздействия кипящих кислот) по сравнению с материалом - прототипом.

Поставленная задача решается тем, что материал на основе кубического нитрида бора, обладающий световой эмиссией в УФ-, видимой и ИК-областях спектра, включающий кубический нитрид бора и по меньшей мере один из ряда редкоземельных элементов Gd, Ce, Tm, Tb, Sm, Eu, Er, Nd, отличается тем, что он представляет собой твердый раствор ионов R_3E^{3+} в кристаллической решетке кубического нитрида бора, характеризующийся нелинейно возрастающей зависимостью $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$, параметра кристаллической решетки

от функции Райли $R = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \Theta}{\sin \Theta} + \frac{\cos^2 \Theta}{\Theta} \right)$, рассчитанных последовательно из рефлексов

(331), (311), (220), (111) рентгенодифрактометрического спектра, при следующем соотношении компонент в твердом растворе: ионов R_3E^{3+} - 0,01-5 ат. %, cBN - 99,99-95 ат. %.

Новым по мнению авторов является то, что полученный материал, обладающий световой эмиссией в УФ-, видимой и ИК-областях спектра, обладает высокой стабильностью светоизлучающих свойств, что позволит применять его при жестких условиях эксплуатации (высокие температуры, в том числе температура термоудара до 1300 °С, высокая радиация различной природы, воздействие кипящих кислот).

Сущность изобретения состоит в получении материала, включающего кубический нитрид бора и по меньшей мере один из ряда редкоземельных элементов, структура которого в виде твердого раствора обеспечивает ему оптимальную совокупность свойств: интенсивную световую эмиссию в УФ-, видимой и ИК-областях спектра, а также присущих кубическому нитриду бора стабильность при высоких температуре, радиации и химически агрессивных средах.

Проиллюстрировать сущность изобретения можно следующим образом. Кубический нитрид бора (cBN) обладает наибольшей шириной запрещенной зоны ($E_g = 6,4$ эВ) из полупроводниковых соединений A_3B_5 . CBN более термически, радиационно и химически устойчив, чем алмаз. Большая ширина запрещенной зоны, жесткая кристаллическая решетка и низкий коэффициент диффузии определяют возможность введения в cBN примесей в большой концентрации без их агломерации. Возможность получения светоизлучающего материала на основе кубического нитрида бора, активированного различными редкоземельными элементами (R_3E) - обусловлена тем, что электронные переходы (f-f или d-f) различных трехзарядных ионов R_3E , внедренных в кристаллические матрицы, являются источником люминесценции в УФ-, видимой и ИК-областях спектра, эффективность которой напрямую зависит от характеристик этой матрицы. CBN, ввиду собственных уникальных свойств, является наиболее подходящей матрицей для реализации источников с наиболее стабильной (термически, радиационно и химически) световой эмиссией, в том числе в коротковолновой УФ-области.

Любой кристаллический объект может быть охарактеризован рентгенодифрактометрическим спектром (РД-спектр), отдельные рефлексы которого являются результатом отражения рентгеновских лучей от различных кристаллографических плоскостей объекта, в соответствии с законом Вульфа-Брэгга ($2d \sin\Theta = n\lambda$). Известно также, что зависимость $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$ для кристаллической решетки совершенного кристаллического объекта должна представлять собой прямую линию. Здесь $a(\Theta)$ - параметр кристаллической решетки и $R = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2\Theta}{\sin\Theta} + \frac{\cos^2\Theta}{\Theta} \right)$ - функция Райли (1), рассчитанные для каждого из реф-

лексов РД-спектра кристаллического объекта, 2Θ - угол дифракции.

Заявляемый материал на основе кубического нитрида бора, легированный одним РзЭ из ряда лантаноидов (Gd^{3+} , Ce^{3+} , Tm^{3+} , Tb^{3+} , Sm^{3+} , Eu^{3+} , Er^{3+} , Nd^{3+}), обладает стабильной световой эмиссией (фото - и катодолюминесценцией) в различных областях спектра в зависимости от вида иона РзЭ³⁺. Материал характеризуется рентгенодифрактометрическим спектром, в котором присутствуют рефлексы (111), (200), (220), (311), (400) и (331), характерные только для сBN. Отличительными особенностями РД-спектров РзЭ:сBN, по сравнению с эталоном (нелегированный сBN), являются заметное увеличение интенсивности фона (I_f/I_{111}) в области малых углов, снижение общей интенсивности, перераспределение интенсивностей рефлексов, а также их смещение в область малых углов в соответствии с закономерностью, экспериментально установленной авторами настоящего изобретения. Закономерность, которой следуют величины углового смещения рефлексов (220), (111), (311) и (331) в РД-спектрах РзЭ:сBN при сравнении со спектром эталона в пределах одной и той же ошибки, выражается тем, что указанные угловые смещения могут находиться в порядке убывания, то есть смещения рефлексов (220) и (111) могут быть больше смещений рефлексов (311) и (331).

Факт формирования твердого раствора в системе в соответствии с классическими признаками [4, 5] устанавливается уже по наличию одного из них: по изменению характера фона спектра РД легированного кристаллического объекта, по снижению в нем интенсивностей рефлексов, увеличению их уширения, а также изменению их углового положения.

Авторами изобретения зафиксированы все признаки образования твердого раствора РзЭ в сBN, чего не было сделано для прототипа.

Установлено также, что зависимости $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$, рассчитанные из рефлексов РД-спектров РзЭ:сBN, отклоняются от линейной зависимости и вида этой зависимости для эталона в сторону возрастания параметра кристаллической решетки по рефлексам (111), (220), (311) относительно рефлекса (331), что свидетельствует о наличии искажений кристаллической решетки сBN, обусловленных присутствием в ней ионов редкоземельных элементов.

Таким образом, заявляемый материал является твердым раствором РзЭ в сBN. К преимуществам заявляемого материала на основе кубического нитрида бора с установленной структурой, являющейся твердым раствором РзЭ в известной концентрации в кристаллической решетке сBN, является световая эмиссия, не подверженная термическому тушению, соответственно, ее наибольшая устойчивость к термоударам (до $T \sim 1300^\circ C$), радиационная и химическая (кипящие кислоты) стойкость, по сравнению с прототипом. Изобретение поясняется примерами и фигурами:

фиг. 1 - РД-спектры микропорошков эталона сBN (1) и Tb:сBN (0,1 ат. % Tb) (б);

фиг. 2 - РД-спектр микропорошка Eu:сBN (0,1 ат. % Eu) (а) и зависимости $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$; периода кристаллической решетки Eu:сBN и эталона сBN от функции Райли, рассчитанных для каждого рефлекса их РД-спектров (б);

фиг. 3 - РД-спектры эталона сBN (а) и Ce:сBN (0,02 - 0,04 ат. % Ce);

фиг. 4 - РД-спектр Tm:сBN;

фиг. 5 - спектр ФЛ ($\lambda_{\text{возб}} = 488 \text{ нм}$) Sm:cBN (0,01 ат. % Sm) (а) и зависимости $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$, периода кристаллической решетки Sm:cBN и эталона cBN от функции Райли, рассчитанные для каждого рефлекса его РД-спектра (б).

Пример 1.

Два образца материала в виде микропорошков Tb : cBN светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений - высоких температур. Методом Резерфордского обратного рассеяния (РОР) установлена концентрация тербия в одном микропорошке - 0,05 ат. % Tb, а в другом - 0,1 ат. % Tb. РД-спектры микропорошков Tb:cBN (0,05 ат. % и 0,1 ат. % Tb) проанализированы путем их сравнения с РД-спектром эталона, нелегированного микропорошка cBN светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм (фиг. 1 а, б). По сравнению с эталоном, для РД-спектров легированного cBN, в том числе с увеличением концентрации Tb (фиг. 2 а), характерно уменьшение общей интенсивности (фиг. 1 а), перераспределение рефлексов по интенсивности и их сдвиг в область малых углов. Сдвиг рефлекса (331) является минимальным по сравнению со сдвигами рефлексами (220), (111), (311) (фиг. 2 а). Фиксируется увеличение фона в области малых углов спектра Tb:cBN относительно эталона с увеличением концентрации Tb (фиг. 1 б).

Зависимости параметра решетки от функции Райли рассчитаны для каждого из рефлексов РД-спектров эталона и микропорошков Tb:cBN по формуле Вульфа-Брэгга и формуле (1) соответственно (фиг. 2 б). Вид зависимости для легированных образцов отличается от ее вида для эталона, и в большей степени с увеличением концентрации Tb в cBN. Некоторое отклонение зависимости эталонного микропорошка от линейной связано с его нестехиометрическим составом.

Материалы Tb:cBN являются однофазными и обнаруживают все признаки формирования твердого раствора Tb в cBN. Свидетельством искажений кристаллической решетки Tb:cBN является значительное отклонение вида зависимости "параметр решетки от функции Райли" от вида этой зависимости для эталона, а величина указанного отклонения зависит от концентрации Tb в кристаллической решетке cBN.

Фотолюминесцентный (ФЛ) анализ микропорошков Tb:cBN показал наличие зеленой ФЛ ионов Tb^{3+} , инкорпорированных в кристаллическую решетку cBN, интенсивность которой увеличивалась с увеличением концентрации Tb от 0,05 до 0,1 ат. %. Травление микропорошков в кипящей кислоте в течение 1 ч с последующей промывкой в дистиллированной воде не показало изменения структуры спектров ФЛ и изменения ее интенсивности при возбуждении лазерным излучением с $\lambda = 325 \text{ нм}$. Концентрация Tb в микропорошках после травления не изменилась.

Пример 2.

Образец материала Eu:cBN в виде микропорошка светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений высоких температур. По данным РОР содержание Eu в материале составило 0,1 ат. %. РД-анализ материала произвели по методике, изложенной в примере 1, в сравнении с РД-спектром эталона, нелегированного микропорошка cBN. На фиг. 2 а представлен РД-спектр Eu:cBN (0,1 ат. % Eu). На фигуре видно возрастание фона в области малых углов, уменьшение общей интенсивности РД-спектра Eu:cBN, а также перераспределение интенсивностей его рефлексов, по сравнению с эталоном. Зависимость параметра решетки материала Eu:cBN от функции Райли (фиг. 2 б) рассчитанных для каждого из рефлексов спектров РД-эталона и микропорошка Eu:cBN отличается, демонстрируя меньший уровень искажений кристаллической решетки cBN, по сравнению с материалом Tb:cBN, содержащим 0,1 ат. % Tb (пример 1). В данном случае очевидно влияние размеров внедренных в cBN ионов РзЭ, поскольку размер иона Tb^{3+} составляет 0,100 нм, а размер иона Eu^{3+} - 0,097 нм. Все указанные признаки при однофазном составе образца являются характерными при образовании твердого раствора примеси (в данном случае ионы Eu^{3+}) в кристаллической решетке cBN.

Результаты уточнения периода кристаллической решетки материала Eu:cBN в программном обеспечении Diffrac^{Plus} Toras при использовании дифрактометра D8 ADVANCE Bruker показали, что описать полученные дифрактограммы в пространственной группе F-43m кубической сингонии, которой соответствует cBN, корректно невозможно, поскольку в спектрах стабильно присутствуют отклонения в положении максимумов угловых отражений от плоскостей (111), (220), (311) cBN. Наличие этих отклонений является подтверждением того, что кристаллическая решетка Eu:cBN находится в деформированном состоянии (искажена) ввиду присутствия в ней внедренных ионов Eu^{3+} .

Фотолюминесцентный (ФЛ) и катодолюминесцентный (КЛ) анализ материала Eu:cBN показал наличие красной ФЛ и КЛ ионов Eu^{3+} , инкорпорированных в кристаллическую решетку cBN. Травление микропорошков в кипящей кислоте в течение 4 ч с последующей промывкой в дистиллированной воде не показало изменения структуры спектров ФЛ и изменения ее интенсивности при возбуждении лазерным излучением с $\lambda = 488$ и 325 нм. Концентрация Eu в материале после травления осталась неизменной. Воздействие электронного облучения дозой $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$ не привело к уменьшению интенсивности красной световой эмиссии при неизменной концентрации Eu в cBN.

Пример 3.

Образец материала Ce:cBN в виде микропорошка светло-шоколадного цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений - высоких температур. По данным рентгеновского микроанализа содержание Ce в материале составило 0,02-0,04 ат. %. РД-анализ микропорошка производили по методике, изложенной в примере 1, в сравнении с эталоном, нелегированным микропорошком cBN. Микропорошок Ce:cBN является источником широкополосной люминесценции в интервале 350-450 нм с максимумом при 400 нм. Сине-голубая ФЛ материала фиксируется при возбуждении ФЛ лазерным излучением с $\lambda = 325$ нм. Из сравнения РД-спектров эталона и материала Ce:cBN (фиг. 3 а, б), очевидно возрастание фона в области малых углов, сильное уменьшение общей интенсивности РД-спектра Ce:cBN, перераспределение интенсивностей его рефлексов и их уменьшение. Все рефлексy в РД-спектре Ce:cBN смещаются в область малых углов по сравнению с эталоном. Зависимость параметра решетки от функции Райли, рассчитанных из каждого из рефлексов спектров РД-эталона и Ce:cBN, рассчитанных по формуле Вульфа-Брэгга и формуле (1) соответственно, сильно отличается от линейной и ее вида для эталона. Полученные результаты при однофазном составе материала свидетельствуют об образовании твердого раствора Ce в кристаллической решетке cBN и наличии ее искажений, характер которых отличается от имеющих место в примерах 1, 2. Очевидна связь размера иона Ce^{3+} ($r = 0,102$ нм), самого крупного из лантаноидов, с наибольшими изменениями РД-спектра Ce:cBN, по сравнению со спектрами материалов Tb:cBN и Eu:cBN.

Травление микропорошка Ce:cBN в кипящей кислоте в течение 3 ч с последующей промывкой в дистиллированной воде и последующая термообработка при $t = 970$ °C в течение 1 ч не привели к изменению структуры спектров ФЛ и ее интенсивности при возбуждении лазерным излучением с $\lambda = 325$ нм. Концентрация Ce в микропорошках после травления не изменилась.

Пример 4.

Образец материала Tm:VcN в виде микропорошка светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм с содержанием Tm в 0,1 ат. % (данные РОР) получили в условиях высоких давлений - высоких температур. РД - анализ микропорошка производили по методике, изложенной в Примере 1, в сравнении с эталоном. Микропорошок Tm:cBN является источником катодолюминесценции в виде полос сине-голубого цвета с максимумом при 450-475 нм. На фиг. 4 представлен РД-спектр указанного материала, свидетельствующий об его однофазном составе.

Зависимость параметров решетки от функции Райли, рассчитанных из каждого из рефлексов спектров РД-эталона и микропорошков Tm:cBN (0,1 ат. % Tm) по формуле Вульфа-

фа-Брэгга и формуле (1) соответственно, минимально изменена по сравнению со спектрами эталона и материалов Tb:cBN, Eu:cBN и Ce:cBN. Из чего следует, что искажения кристаллической решетки cBN, по сравнению с эталоном и Tb:cBN, Eu:cBN, Ce:cBN невелики, однако растворение ионов Tm^{3+} наблюдаются, поскольку параметр решетки является измененным.

Минимальные изменения спектров РД Tm:cBN коррелируют с минимальным размером иона Tm^{3+} ($r = 0,095$ нм) из всех лантаноидов.

Полученные результаты при однофазном составе материала Tm:cBN свидетельствуют об образовании твердого раствора Tm в кристаллической решетке cBN и наличии ее искажений, минимальных по сравнению с описанными в примерах 1, 2, 3.

Термообработка образца материала в вакууме до $t = 1250$ °C в течение 3 ч не привела к изменению интенсивности сине-голубой люминесценции с максимумом полосы при 465 нм. Концентрация Tm в материале осталась без изменений.

Пример 5.

Образец материала Er:cBN в виде микропорошка светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений, высоких температур. По данным рентгеновского микроанализа содержание Er в материале составило 0,1 ат. %. РД-спектр материала содержал дополнительные линии помимо рефлексов cBN. В ИК-области спектра фотолюминесценции (возбуждение лазерным диодом с $\lambda = 960$ нм) материала наблюдалась интенсивная структурированная широкая полоса с максимумом при ~ 1530 нм. Материал был подвергнут отжигу при 900 Т в вакууме в течение 5 ч. После отжига содержание Er в материале было менее 0,1 ат. %, а интенсивность ФЛ при 1530 нм уменьшилась в 2,5 раза, указывая на удаление из материала некоторых продуктов синтеза, содержащих Er, но обладающих меньшей термостабильностью по сравнению с cBN. Последующее химическое травление отожженного материала в кипящей соляной кислоте в течение 30 мин привело к уменьшению интенсивности ФЛ на 75 %, что свидетельствовало о присутствии в отожженном материале продуктов синтеза, химически неустойчивых по сравнению с cBN. Содержание Er-материале Er:cBN после отжига и химического травления составило менее 0,01 ат. %.

Пример 6.

Образец материала Sm:cBN в виде микропорошка светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений высоких температур. По данным рентгеновского микроанализа содержание Sm в образце составило 0,01 ат. %. Материал обладал оранжево-красной фотолюминесценцией ионов Sm^{3+} в cBN, спектр которой представлен на фиг. 5 а. РД - анализ материала Sm:cBN производили по методике, изложенной в примере 1, в сравнении с эталоном. На фиг. 5 б представлена зависимость параметров решетки от функции Райли, рассчитанных из каждого из рефлексов спектров РД-эталона и Sm:cBN (0,01 ат. % Sm) по формуле Вульфа-Брэгга и формуле (1) соответственно. На фиг. 5б фиксируется отклонение зависимости $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$ от линейной и ее вида для эталона по рефлексу (111). Очевидно, что материал Sm:cBN представляет собой твердый раствор ионов Sm^{3+} в cBN с искаженной кристаллической решеткой, тип которых близок к "гексагональным" [3].

Материал травлили в кипящей кислоте HCl в течение двух часов, после травления подвергли отжигу в вакууме при 1300 °C в течение 6 ч, после чего интенсивность ФЛ Sm:cBN не изменилась. Концентрация Sm в материале после упомянутых обработок осталась неизменной.

Пример 7.

Образец материала Tb:cBN в виде микропорошка светло-желтого цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений, высоких температур. По данным SIMS-анализа содержание Tm в образце составило менее 10^{18} см⁻³. Материал обладал очень слабой зеленой ФЛ. Рентгенодифрактометрический спектр микропорошка практи-

чески не отличался от эталонного. Не установлено также отклонений зависимости $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$ от вида, характерного для эталона.

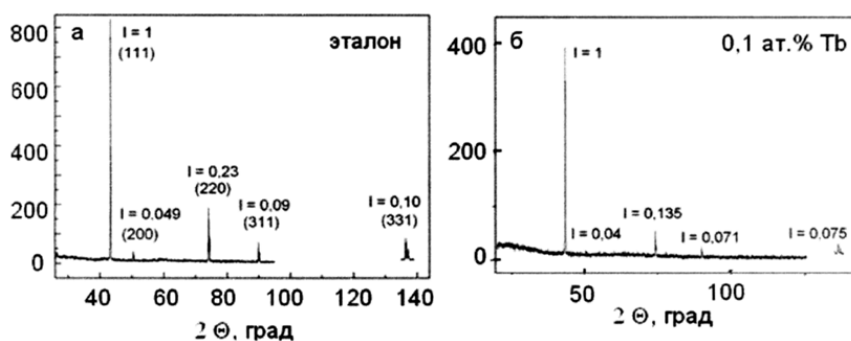
Пример 8.

Образец материала Eu:cBN в виде микропорошка серого цвета с размером зерна 1-2 мкм получили в условиях высоких давлений, высоких температур. Концентрация Eu по результатам рентгеновского микроанализа составила более 5 ат. %. В РД-спектре материала помимо рефлексов cBN присутствовали другие рефлексы. Материал обладал интенсивной красной ФЛ. Спектр РД, который должен был принадлежать непосредственно Eu:cBN, был проанализирован в сравнении с эталоном. Не установлено различий в зависимостях $a(\Theta) = f\{R(\Theta)\}$, рассчитанных из спектров указанного материала и эталона. Травление материала Eu:cBN в кипящей кислоте HCl привело к уменьшению интенсивности ФЛ на 85 %. Таким образом, введение ионов Eu^{3+} в кристаллическую решетку cBN не было реализовано, а синтез под высоким давлением привел к образованию соединений Eu, не обладающих химической стабильностью.

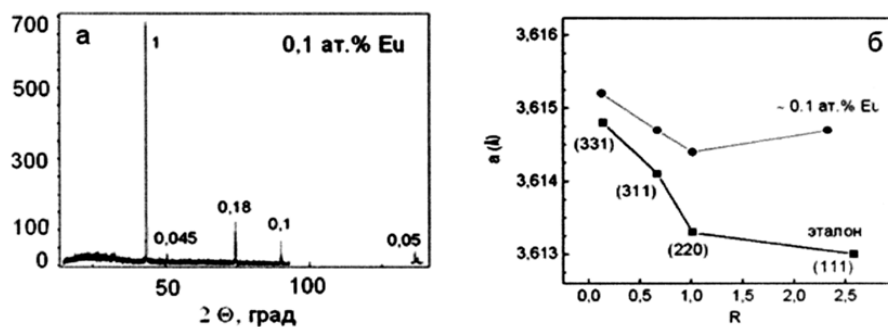
Таким образом, внедрение в кристаллическую решетку кубического нитрида бора трехзарядных ионов редкоземельных элементов и получение твердых растворов РзЭ в cBN позволило решить поставленную задачу изобретения, а именно получить материал со стабильной световой эмиссией для применения в жестких условиях эксплуатации: высокие температуры, в том числе температура термоудара до 1300 °С, высокая радиация различной природы, неизменность после воздействия кипящих кислот. Материал, полученный в соответствии с новым техническим решением, может быть использован в качестве фосфоров - источников вторичного излучения различного цвета, визуализаторов УФ- и ИК-излучения, в детекторах излучения различной природы и т.п.

Источники информации:

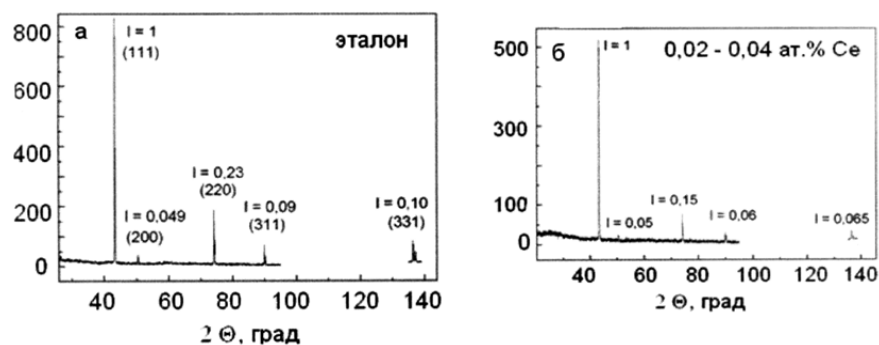
1. Tse S., Sun G., Liu X., Brown Ei, Hommerich U., Trivedi S. B., Zavada J. Development of RE-Doped III-Nitride Nanomaterials for Laser Applications. Mater. Res. Soc. Symp. Proc. "Rare - Earth Doping of Advanced Materials for Photonic Applications", 2009. - Vol. 1111 - P. 1111 - D02-08.
2. Патент JP 2006312672.
3. Богданов С.П. Анализ тонкой кристаллической структуры сфалеритного нитрида бора. Электротермия 2008. Труды Всеросс. научно-техн. конф. - 2008. - С. 92-108.
4. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. - М.: Металлургия, 1982. - 632 с.
5. Горелик С.С. Расторгуев Я.С. Рентгенографический и электрооптический анализ. - М.: Металлургия, 2002. - 368 с.



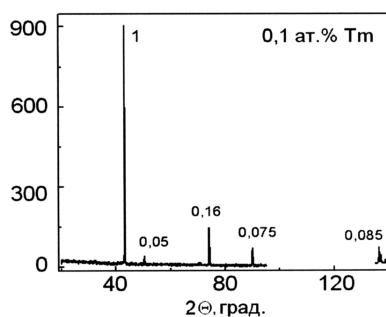
Фиг. 1



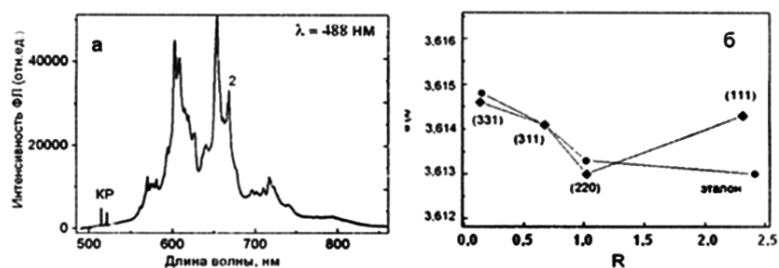
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5